

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局(43) 国際公開日
2004 年 11 月 4 日 (04.11.2004)

PCT

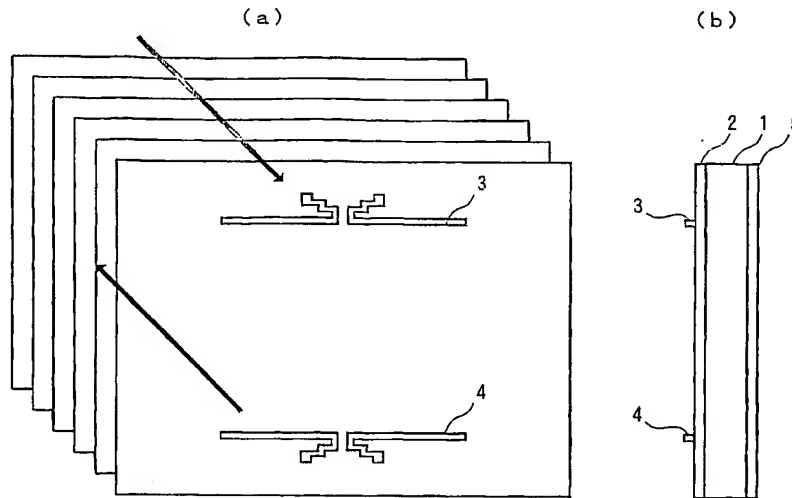
(10) 国際公開番号
WO 2004/095576 A1

- (51) 国際特許分類⁷: H01L 27/04, TECHNOLOGY AGENCY) [JP/JP]; 〒332-0012 埼玉県川口市本町四丁目1番8号 Saitama (JP).
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2004/004419 (72) 発明者; および
- (22) 国際出願日: 2004 年 3 月 29 日 (29.03.2004) (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 吉川 公磨 (KIKKAWA, Takamaro) [JP/JP]; 〒739-0046 広島県東広島市鏡山2番地365 4-104 Hiroshima (JP). 岩田 穆 (IWATA, Atsushi) [JP/JP]; 〒739-0046 広島県東広島市鏡山2番地360 1-301 Hiroshima (JP). 角南 英夫 (SUNAMI, Hideo) [JP/JP]; 〒739-0046 広島県東広島市鏡山2番地365 1-104 Hiroshima (JP). マタウシュ ハンスユルゲン (MATTAUSCH, Hans Jurgen) [DE/JP]; 〒739-0034 広島県東広島市西条町大沢849番地2 Hiroshima (JP). 横山 新 (YOKOYAMA, Shin) [JP/JP]; 〒739-2115
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願2003-117826 2003 年 4 月 23 日 (23.04.2003) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 独立行政法人科学技術振興機構 (JAPAN SCIENCE AND

[続葉有]

(54) Title: SEMICONDUCTOR DEVICE

(54) 発明の名称: 半導体装置



(57) Abstract: There is provided a semiconductor device for eliminating a wiring delay in which an electromagnetic wave is radiated from a transmission dipole antenna formed on a semiconductor chip instead of a long-distance metal wiring and via connection and the electromagnetic wave can be received by a reception antenna provided in a circuit block of another semiconductor chip. In the semiconductor device, the electromagnetic wave transmission signal from the transmission antenna (3) formed on the semiconductor substrate (1) is transmitted to the reception antenna (4) formed on the semiconductor substrate (1) or on a plurality of other semiconductor substrates, thereby forming a wireless wiring. A wide band transmission/reception antenna is formed in each of the plurality of semiconductor substrates. A signal is transmitted from one or more of the semiconductors and received by the reception antenna of the semiconductor substrate (1) or the other plurality of semiconductor substrates. The transmission/reception signal has the ultra wide band communication function.

(57) 要約: 配線遅延をなくすために、長距離の金属配線およびビア接続の代わりに半導体チップ上に形成した送信ダイポールアンテナから電磁波を放射し、別の半導体チップの回路ブロック内に設けた受信アンテナで受けることができる半導体装置を提供する。半導体装置において、

[続葉有]

WO 2004/095576 A1



広島県 東広島市 高屋高美が丘四丁目 3 番 8 号
Hiroshima (JP). 芝原 健太郎 (SHIBAHARA, Kentaro)
[JP/JP]; 〒739-0025 広島県 東広島市 西条中央三丁
目 3 2 番 1 5 号 Hiroshima (JP). 中島 安理 (NAKA-
JIMA, Anri) [JP/JP]; 〒739-0021 広島県 東広島市 西
条町助実 2 4 番地 6-7 0 5 Hiroshima (JP). 小出 哲
士 (KOIDE, Tetsushi) [JP/JP]; 〒739-0024 広島県 東広
島市 西条町御園 6 4 7 番地 1 5 9 Hiroshima (JP).
エービーエム ハルン ウラシッド (A.B.M, Harun-ur
Rashid) [BD/JP]; 〒739-0006 広島県 東広島市 西条
上市町 7 番地 1 2 第 1 2 正田ビル 2 0 3 号室
Hiroshima (JP). 渡邊 慎治 (WATANABE, Shinji) [JP/JP];
〒739-0036 広島県 東広島市 西条町田口 2 7 9 9 番
地 7 コーポ I Z 1 0 3 Hiroshima (JP).

- (74) 代理人: 清水 守 (SHIMIZU, Mamoru); 〒101-0053 東
京都 千代田区 神田美土代町 7 番地 1 0 大園ビル
Tokyo (JP).

- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が
可能): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR,
BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM,

DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU,
ID, IL, IN, IS, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT,
LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI,
NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG,
SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ,
VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が
可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL,
SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG,
KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG, CH, CY,
CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC,
NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG,
CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:
— 国際調査報告書

2 文字コード及び他の略語については、定期発行される
各 PCT ガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語
のガイダンスノート」を参照。

半導体基板(1)上に形成した送信アンテナ(3)からの電磁波伝送信号を前記半導体基板(1)又は別の複数の半導体基板
上に形成した受信アンテナ(4)へ伝送するワイヤレス配線となし、前記複数の半導体基板にそれぞれ広帯域送受信ア
ンテナを形成し、前記1つ以上の半導体基板から信号は発信され、前記半導体基板(1)又は別の複数の半導体基板の
受信アンテナで受信され、その送受信信号がウルトラワイドバンド通信機能を有する。

明 細 書

半導体装置

技術分野

本発明は、半導体装置に係り、特に、複数の半導体基板間の超高速信号伝送が可能なりコンフィギュラブルワイヤレス配線（ウルトラワイドバンド通信によるワイヤレス配線）を実現するための集積化アンテナの構造に関するものである。

背景技術

従来の金属配線は、半導体基板上に形成したアルミニウム薄膜を微細加工し、トランジスタと直接接続するようにしていた。

なお、本発明にかかるワイヤレス配線方式についての関連文献としては、下記非特許文献１－３にそれぞれ掲載されている。

〔非特許文献１〕

IEEE米国電子電気学会IITC国際配線技術会議2002年6月予稿集、A. B. M. H. Rashid, S. Watanabe, T. Kikkawa, X. Guo, and K. O, "Interference suppression of wireless interconnection in Si integrated antenna," Proc. International Interconnect Technology Conference (IEEE, San Francisco, USA, June 3-5), pp. 173-175.

〔非特許文献２〕

固体素子材料コンファレンス2002年9月予稿集、A. B. M. H. Rashid, S. Watanabe and T. Kikkawa, "Wireless Interconnection on Si using Integrated Antenna," Proceedings of 2002 International Conference on Solid Sta

te Devices and Materials (Nagoya, Japan, September, 2002), pp. 648-649.

〔非特許文献3〕

アドバンスドメタライゼーション会議2002年10月予稿集、S. Watanabe, A. B. M. H. Rashid and T. Kikkawa, "Influence of Si Substrate Ground on Antenna Transmission Gain for on-chip Wireless Interconnects," Proc. Advanced Metallization for ULSI Application, (2002) pp. 94-95.

発明の開示

しかしながら、従来の金属配線による接続方式は、高集積化とともに、配線長が長くなると、配線の寄生容量と抵抗値が上昇し、その積である時定数が増大するため配線を通過する信号が遅延する。

さらに、システムが大規模化し、デバイスサイズが縮小化すると、3次元集積化が必要になるが、3次元集積化のための金属配線接続は、シリコン基板を通した目合わせや深いビア孔接続が必要であり、製造が極めて困難で実用化できなかった。

本発明は、上記状況に鑑みて、配線遅延をなくすために、長距離の金属配線およびビア孔接続の代わりに半導体チップ上に形成した送信ダイポールアンテナから電磁波を放射し、別の半導体チップの回路ブロック内に設けた受信アンテナで受けることができる半導体装置を提供することを目的とする。

〔1〕半導体装置において、半導体基板上に形成した送信アンテナからの電磁波伝送信号を前記半導体基板又は別の複数の半導体基板上に形成した受信アンテナへ伝送するワイヤレス配線となし、前記複数の半導体基板にそれぞれ広帯域送受信アンテナを形成し、前記1つ以上の半導体基板から信号が発信され、前記半導体基板又は別の複数の半導体基板の受信アンテナで受信され、その送受信信号がウルトラワイドバンド通信機能を有することを特徴とする。

〔２〕半導体装置において、半導体基板表面に形成する第１の層間絶縁膜に挟まれた多層配線を有し、前記多層配線金属層の一部に送信アンテナを形成し、内部配線金属とは貫通孔の金属を介して接続し、前記送信アンテナが形成された配線金属層は上下を第２の絶縁膜で挟まれており、前記第２の絶縁膜は隣接する第１の層間絶縁膜と誘電率が異なり、電磁波が前記第１および第２の絶縁膜の界面で全反射する条件を満たし、前記アンテナには同一面内での放射方向とは逆の方向に反射器が設けられていることを特徴とする。

〔３〕半導体装置において、半導体基板表面に形成する第１の層間絶縁膜に挟まれた多層配線を有し、前記多層配線金属層の一部に送信アンテナを形成し、内部配線金属とは貫通孔の金属を介して接続し、前記送信アンテナが形成された配線金属層は上下を第２の絶縁膜で挟まれており、前記第２の絶縁膜は隣接する第１の層間絶縁膜と誘電率が異なり、電磁波が前記第１および第２の絶縁膜の界面で全反射しない場合は前記アンテナから前記内部金属配線までの距離と前記第２の絶縁膜の膜厚の関係を次式で決まる値とし、前記アンテナには同一面内での放射方向とは逆の方向に反射器が設けられていることを特徴とする。

$$\text{全反射角度} = \sin^{-1} \sqrt{(\text{第１の絶縁膜の誘電率} / \text{第２の絶縁膜の誘電率})} \quad \dots (1)$$

$$\text{全反射角度} = \tan^{-1} \sqrt{(\text{アンテナから配線までの距離} / \text{第２の絶縁膜の膜厚})} \quad \dots (2)$$

〔４〕半導体装置において、半導体基板表面に形成する複数層の層間絶縁膜に挟まれた多層配線を有し、前記多層配線金属層の一部に送信アンテナを形成し、前記送信アンテナは内部配線金属とは貫通孔の金属を介して接続し、前記送信アンテナが形成された配線金属層は上下を第１の絶縁膜で挟まれており、前記第１の絶縁膜は膜厚方向に複数個の微細孔が貫通しており、アンテナ伝送電磁波周波数におけるフォトリックバンドギャップを形成していることを特徴とする。

〔５〕半導体装置において、半導体基板表面に形成する複数層の層間絶縁膜に挟まれた多層配線を有し、前記多層配線金属層の一部に送信アンテナを形成し、前記送信アンテナは内部配線金属とは貫通孔の金属を介して接続し、前記送信ア

ンテナが形成された配線金属層は上下を第1の絶縁膜で挟まれており、前記第1の絶縁膜は膜厚方向に複数個の微細孔が形成されており、前記微細孔には誘電率の異なる第2の絶縁膜が埋め込まれて、アンテナ伝送電磁波周波数におけるフォトリックバンドギャップを形成していることを特徴とする。

〔6〕半導体装置において、半導体基板上に形成した送信アンテナからの電磁波伝送信号を前記半導体基板又は別の複数の半導体基板上に形成した受信アンテナへ伝送するワイヤレス配線となし、半導体基板表面に形成する多層配線金属層の一部に送受信アンテナを形成し、前記アンテナと接地金属基板および内部金属配線とは半導体中の電磁波の波長で規定される遠方界距離より離れていることを特徴とする。

$$\text{距離} = S \text{ i 基板中の波長} / 2 \pi$$

〔7〕半導体装置において、半導体基板上に形成した送信アンテナからの電磁波伝送信号を前記半導体基板又は別の複数の半導体基板上に形成した受信アンテナへ伝送するワイヤレス配線となし、前記アンテナと接地金属基板および内部金属配線とは半導体中の電磁波の波長で規定される遠方界距離より離れるように、前記半導体基板と接地金属基板との間に低誘電率絶縁膜を挿入したことを特徴とする。

$$\text{距離} = S \text{ i 基板中の波長} / 2 \pi$$

〔8〕半導体装置において、半導体基板上に形成した送信アンテナからの電磁波伝送信号を前記半導体基板又は別の複数の半導体基板上に形成した受信アンテナへ伝送するワイヤレス配線となし、前記送信アンテナからの放射方向に垂直に配置された複数の金属配線層がビア接続孔を介して接続され、その全長が半導体中の電磁波の波長の8分の1より短くなるように分割し、電源、接地配線および共通配線はアンテナの放射方向に平行に配置することを特徴とする。

〔9〕半導体装置において、半導体基板上に形成した送信アンテナからの電磁波伝送信号を前記半導体基板又は別の複数の半導体基板上に形成した受信アンテナへ伝送するワイヤレス配線となし、前記半導体基板を複数個並べて積層集積化し、前記半導体基板裏面および前記半導体基板から最も離れた外側の半導体基板裏面には全面金属接地層が形成されて外を向いて配置され、それ以外の半導体基

板には裏面接地金属層を形成せず、接地コンタクトは基板表面からとることを特徴とする。

〔10〕半導体装置において、半導体基板上に形成した送信アンテナからの電磁波伝送信号を前記半導体基板又は別の複数の半導体基板上に形成した受信アンテナへ伝送するワイヤレス配線となし、前記半導体基板裏面の接地金属層は短冊状に分割し、その幅は半導体中の電磁波の波長の4分の1より小さく、その間隔は半導体中の電磁波の波長の4分の1より大きいことを特徴とする。

〔11〕半導体装置において、半導体基板上に形成した送信アンテナからの電磁波伝送信号を前記半導体基板又は別の複数の半導体基板上に形成した受信アンテナへ伝送するワイヤレス配線となし、前記送信アンテナの上方に第1または誘電率の異なる第2の層間絶縁膜材料で形成された放物面を有するレンズ状絶縁膜を形成し、前記レンズ状絶縁膜の表面に金属層が形成されていることを特徴とする。

〔12〕半導体装置において、半導体基板上に形成した送信アンテナからの電磁波伝送信号を前記半導体基板又は別の複数の半導体基板上に形成した受信アンテナへ伝送するワイヤレス配線となし、前記送信アンテナから同期クロック信号を放射し、前記の半導体基板上に形成した各受信アンテナで受信するとき、前記送信アンテナから前記各受信アンテナまでの直線距離を電磁波伝送速度で割った時間をクロック受信回路の遅れ時間としてタイミング調整することを特徴とする。

〔13〕半導体装置において、半導体基板上に形成した送信アンテナからの電磁波伝送信号を前記半導体基板又は別の複数の半導体基板上に形成した受信アンテナへ伝送するワイヤレス配線となし、前記複数の半導体基板が等間隔で積層集積化され、前記各半導体基板上に形成した送受信アンテナが前記半導体基板上に形成した送信アンテナと同じ辺に配置され前記送信アンテナから放射された同期クロック信号の中継器となり、前記送受信アンテナ間直線距離を電磁波伝送速度で割った最大時間がそのクロック周期の $1/4$ より小さくなることを特徴とする。

〔14〕半導体装置において、半導体基板上に形成した送信アンテナからの電磁波伝送信号を別の複数の半導体基板上に形成した受信アンテナへ伝送するワイヤレス配線となし、前記複数の半導体基板が等間隔で積層集積化され、前記各半

導体基板上に形成した送受信アンテナはその伝送利得が -10 dB となる帯域が中心周波数の 25% 以上となるような広帯域アンテナであることを特徴とする。

本発明によれば、システムとしては、複数のシリコン基板上にダイポールアンテナ及びウルトラワイドバンド送受信回路を形成し、シリコン基板を透過して通信する。そして、シリコン基板中を伝播する対応する電磁波の周波数は 20 GHz である。

図面の簡単な説明

第1図は、本発明の第1実施例を示す半導体装置の模式図である。

第2図は、本発明の第1実施例を示す半導体装置の集積化アンテナの構造および半導体装置の断面図である。

第3図は、本発明にかかるウルトラワイドバンド（UWB）通信の送信回路例を示す図である。

第4図は、本発明にかかるウルトラワイドバンド通信の受信回路例を示す図である。

第5図は、本発明の第2実施例を示す半導体装置の断面図である。

第6図は、本発明の実施例を示す半導体装置の製造工程断面図（その1）である。

第7図は、本発明の実施例を示す半導体装置の製造工程断面図（その2）である。

第8図は、本発明の第3実施例を示すSi基板の厚さを変えたときのアンテナ伝送利得特性を示す図、および半導体装置の断面模式図である。

第9図は、アンテナの近傍に金属配線がある場合の誘電率の異なる層間絶縁膜界面での反射率とアンテナ利得の関係を示す図である。

第10図は、本発明の第4実施例を示すアンテナの近傍に金属配線がある場合の金属配線長とアンテナ利得の関係を示す図である。

第11図は、本発明の実施例を示す金属を縦と横に交互に配置した配線パターンを示す図である。

第12図は、本発明の実施例を示す金属配線長を電磁波の波長の $1/8$ に分割

し、かつ縦と横に交互に配置した配線パターンについてアンテナ利得の周波数依存性を示す図である。

第13図は、本発明の第5実施例を示す半導体基板間伝送アンテナ構成図である。

第14図は、本発明の第6実施例を示す半導体装置の平面図を示す図である。

第15図は、本発明の第7実施例を示す半導体装置間の伝送状態を示す模式図である。

第16図は、第15図における周波数に対するアンテナ利得特性図である。

発明を実施するための最良の形態

以下、本発明の実施の形態について詳細に説明する。

まず、本発明の第1実施例（請求項1対応）について説明する。

第1図は本発明の第1実施例を示す半導体装置の模式図であり、第1図（a）はその平面図、第1図（b）はその断面図である。第2図はその半導体装置の集積化アンテナの構造および半導体装置の断面図であり、第2図（a）はその半導体装置の集積化アンテナの構造、第2図（b）はその半導体装置の断面図である。

第1図に示すように、抵抗率 $10\Omega\cdot\text{cm}$ （平均値）のP型（100）Si基板1上に、厚さ $0.5\mu\text{m}$ のシリコン酸化膜（ SiO_2 膜）2を、 1000°C で水素と酸素を混合したガスを流した電気炉内で約120分熱処理して形成する。その上に、直流電流マグネトロンスパッタリングによるアルミニウムターゲットへのアルゴンイオン衝撃により、対向するウエハ（図示なし）に厚さ $1\mu\text{m}$ のアルミニウム膜を堆積する。

次に、幅 $10\mu\text{m}$ のダイポールアルミニウムアンテナパターン3、4を半導体リソグラフィ技術により、フォトレジストをマスクに塩素系ガスを用いたプラズマエッチング技術でシリコン酸化膜2上に形成する。また、Si基板1の下部に接地金属層5を形成し、第1図（a）に示すように集積化するようにしている。

また、第2図においては、Si基板1'は抵抗率 $8-12\Omega\cdot\text{cm}$ で厚さ $260\mu\text{m}$ 、 SiO_2 膜2'は厚さ $0.5\mu\text{m}$ であり、Si基板1'の下部に厚さ 2.6mm の低誘電率材料層（low-k）6、最下部に接地金属層7を形成するよ

うにしている。また、 SiO_2 膜 2' 上にダイポールアルミニウムアンテナパターン 3' , 4' を配置している。

第 3 図は本発明にかかるウルトラワイドバンド (UWB) 通信の送信回路例を示す図、第 4 図は本発明にかかるウルトラワイドバンド通信の受信回路例を示す図である。ここでは、日経エレクトロニクス 2002 年 8 月 26 日号 p. 137 に掲載された記事を参考に以下に説明する。

第 3 図に示すように、送信回路 10 は、パルス波形 12 を規則的に発生させるフレームクロック回路 11 と、そのパルス波形 12 と拡散符号生成回路 13 から信号を受けて、拡散符号信号 15 を出力する時間ホッピング回路 14 と、その拡散符号信号 15 と入力データ信号 16 を受けて遅延信号 17 A を出力する入力系列による遅延回路 17 と、その遅延信号 17 A を受けて送信波形 19 を出力する送信波形生成回路 18 とを具備する。

また、第 4 図に示すように、受信回路 20 は、パルス波形 22 を規則的に発生させるフレームクロック回路 21 と、そのパルス波形 22 を受けて拡散符号信号 24 を発生させる時間ホッピング回路 23 と、その拡散符号信号 24 を受けて送信波形 26 を出力する送信波形生成回路 25 と、その送信波形 26 と受信波形 27 を受けるパルス相関器 28 と、そのパルス相関器 28 からの出力信号を受けるパルス列の合計回路 29 と、そのパルス列の合計回路 29 からの出力信号を受け、出力信号 31 を出力する判別回路 30 とを具備する。

UWB とは、利用する周波数の幅が中心周波数に対して 25% 以上ある場合をいう。情報伝送には 1 ns 以下のパルス幅、例えば、数 10 psec から数 100 psec で、パルス間隔が数 nsec のガウシアンパルスと呼ばれる短いパルスを使い、搬送波を用いない。この結果、数 GHz にわたる超広帯域なパルス波となる。この非常に短いパルス幅の信号を短周期で発生させ、ベースバンド信号のままアンテナから放射する。

誤り無しに送受信できるデータ伝送速度の限界であるシャノン限界は以下のよう記述できる。

$$C = B \log (1 + P/N)$$

ここで、C : 最大通信路容量 (ビット/秒)、B : 帯域幅 (Hz)、P : 信号

平均電力 (W)、N：雑音平均電力 (W) である。すなわち、最大通信路容量は帯域幅に比例する。

また、第 3 図に示すように、送信回路 10 は、従来の搬送波を必要としないので、VCO（電圧制御発振器）や周波数シンセサイザ、ミキサ、中間周波フィルタが不要である。必要な回路は、パルス波形 12 を規則的に発生させるフレームクロック回路 11 であり、拡散符号による遅延をとりこみ、パルス列を時間軸上にランダム拡散させ時間ホッピングパターンを形成する。

さらに、第 4 図に示した受信回路 20 はテンプレート波形と相関をとり、パルス信号の認識をする。

以上の技術を用い、本発明では、シリコン基板上にウルトラワイドバンド送信回路と広帯域送信アンテナを集積化する。次に、このシリコン基板から電磁波信号が送信されて、別の複数のシリコン基板にそれぞれ集積化された受信アンテナに受信され、パルス信号を認識することを特徴とする。

次に、本発明の第 2 実施例（請求項 2 又は 3 対応）について説明する。

第 5 図は本発明の第 2 実施例を示す半導体装置の断面図である。

この図において、41 は Si 基板、42 は多層配線からなる配線金属層を囲む第 1 の絶縁膜（低誘電率；比誘電率 2.0）、43 は配線金属層、44 はアンテナ 45（送信アンテナ 45A と受信アンテナ 45B）の第 2 の絶縁膜（高誘電率；比誘電率 7.0）、45A は送信アンテナ、45B は受信アンテナ、46 は反射器、47 はアンテナ層である。

この実施例では、アンテナ 45（送信アンテナ 45A と受信アンテナ 45B）と配線金属層 43 の干渉を減らすために、配線金属層 43 とアンテナ層 47 を分離すればよいので、その基準を示す。

送信アンテナ 45A から出た電磁波が配線金属層 43 と干渉しないためには、配線金属層 43 を囲む第 1 の絶縁膜 42 界面で電磁波が全反射する条件を見出せばよい。さらに、全反射条件を満たさない領域には配線金属層 43 を配置しない条件を付けることとする。

このことから、Si 基板 41 上に形成する比誘電率 2.0 の低誘電率層間絶縁膜 42 に挟まれた銅の多層配線からなる配線金属層 43、および比誘電率 7.0

の高誘電率層間絶縁膜 4 4 で絶縁されたアンテナ 4 5 において、アンテナ層 4 7 の一部に送信アンテナ 4 5 A を形成し、配線金属層 4 3 は上下を比誘電率 2.0 の低誘電率ポーラスシリカ（第 1 の絶縁膜） 4 2 で挟まれる構成とする。

また、第 2 の絶縁膜 4 4 はプラズマ CVD（化学的気相成長）で形成したシリコン窒化膜であり、その誘電率は隣接する第 1 の絶縁膜 4 2 の誘電率より高く、電磁波が前記第 1 の絶縁膜 4 2 と第 2 の絶縁膜 4 4 の界面で全反射する条件を満たすか、条件を満たさないかの場所は、アンテナ 4 5 から配線金属層 4 3 までの距離 x と第 2 の絶縁膜 4 4 の膜厚 t の関係が次式で決まる値とする。アンテナ層 4 7 には、同一面内で放射方向とは逆の方向に反射器 4 6 が設けられている。

全反射角度 $= \sin^{-1} \sqrt{(\text{第 1 の絶縁膜の誘電率} / \text{第 2 の絶縁膜の誘電率})}$

… (1)

全反射角度 $= \tan^{-1} \sqrt{(\text{アンテナから配線までの距離} / \text{第 2 の絶縁膜の膜厚})}$

… (2)

この構成により半導体装置のアンテナ利得を改善することができる。

上記したアンテナ利得を改善するための半導体装置の構造について、その製造工程を第 6 図および第 7 図で説明する。

まず、第 6 図 (a) に示すように、抵抗率 $10 \Omega \cdot \text{cm}$ の P 型 (100) Si 基板 1 4 1 上に、厚さ $0.5 \mu\text{m}$ のシリコン酸化膜（図示なし）を形成し、その上にドライエッチングストッパーとして、 400°C において 4 水素化シリコン、シランとアンモニア NH_3 を反応させることによりプラズマ化学気相成長させたシリコン窒化膜 1 4 2 を $0.2 \mu\text{m}$ の膜厚で形成する。その上に、第 1 の絶縁膜として比誘電率 2.0 の低誘電率層間絶縁膜 1 4 3 を形成する。このとき、TEOS（テトラエチルオルソシリケート）を溶媒であるエタノールに溶かした SOG（スピノングラス）にポーラス剤として陽イオン系界面活性剤である ATMA（アルキルトリメチルアンモニウム）を用いた溶剤を 3000 rpm で回転塗布し、 180°C で 1 時間、 400°C で 1 時間のベークを行い、第 1 の絶縁膜 1 4 3 として膜厚 500 nm のポーラスシリカ膜を得た。

低誘電率層間絶縁膜 1 4 3 としては、比誘電率 2.0 の例えばポーラスメチルシルセスキオキサン前駆体を 3000 rpm で回転塗布し、続いて、大気中で 1

50℃で3分、250℃で5分、400℃で30分ベークし、膜厚0.5μmを形成してもよい。

次いで、ドライエッチング用ハードマスク（図示なし）として、400℃において4水素化シリコン、シランと亜酸化窒素N₂Oを反応させ、プラズマ化学気相成長によって膜厚0.2μmのシリコン酸化膜を形成する。次に、第6図

(b)に示すように、フォトリソグラフィ法でプラズマによるシリコン酸化膜に配線溝パターンを形成し、これをマスクにして第1の絶縁膜143をフルオロカーボン系ガスでプラズマエッチングして溝144を形成する。

フォトレジスト（図示なし）を除去した後、第6図(c)に示すように、DCマグネトロンスパッタ法によるタンタルターゲットへのプラズマ中でのアルゴンイオン衝撃により、対向するウエハに、タンタル薄膜145を0.1μm形成し、バリアメタルとする。

続いて、第6図(d)に示すように、DCマグネトロンスパッタ法による銅ターゲットへのプラズマ中でのアルゴンイオン衝撃により、対向するウエハに銅薄膜146を0.2μm形成し、銅めっきのシード層とする。

続いて、第7図(a)に示すように、硫酸銅および希硫酸溶液中で銅めっきを行い、ウエハ上に銅147を1μm形成する。

さらに、第7図(b)に示すように、化学機械研磨によって銅147の表面を平坦化し、配線パターン（配線金属層）148を溝144内に残すように形成する。

各配線金属層148同士の接続は、第6図(a)－(d)、第7図(a)－(b)を繰り返し、キャップ層として、400℃において4水素化シリコン、シランとアンモニアNH₃を反応させることによりプラズマ化学気相成長させたシリコン窒化膜142'（図示なし）を0.2μmの膜厚で形成する。その上に、第1の絶縁膜として比誘電率2.0の低誘電率層間絶縁膜143'（図示なし）を形成する。このとき、TEOS（テトラエチルオルソシリケート）を溶媒であるエタノールに溶かしたSOG（スピニングラス）にポーラス剤として陽イオン系界面活性剤であるATMA（アルキルトリメチルアンモニウム）を用いた溶剤を3000rpmで回転塗布し、180℃で1時間、400℃で1時間のベーク

クを行い、第1の絶縁膜143'として膜厚500nmのポーラスシリカ膜を得た(図示なし)。

低誘電率層間絶縁膜143'としては、比誘電率2.0の例えばポーラスメチルシルセスキオキサン前駆体を3000rpmで回転塗布し、続いて、大気中で150℃で3分、250℃で5分、400℃で30分ベークし、膜厚0.5μmを形成してもよい。

次いで、ビア孔(図示なし)をフォトリソグラフィ技術でフォトレジストにパターンニングし、これをマスクにして、第1の絶縁膜143'(図示なし)にフルオロカーボン系ガスでプラズマエッチングして溝144'(図示なし)を形成する。続いてキャップ層のプラズマシリコン窒化膜をエッチングして、下部銅配線につながるビア孔を形成する。次いで、DCマグネトロンスパッタ法によるチタンターゲットへのプラズマ中でのアルゴンイオンおよび窒素イオン衝撃により、対向するウエハのビア孔に窒化チタン薄膜を0.1μm形成し、バリアメタルとする。ここに6フッ化タングステンの化学気相成長法による還元でタングステンプラグを形成する。これを繰り返して多層ダマシンプラグ(図示なし)を形成する。タングステンプラグの代わりに銅めっきのプラグを用いても良い。

次に、第7図(c)に示すように、パターンニング形成された配線金属層148の上に、高誘電率絶縁膜として、400℃において4水素化シリコン、シランとアンモニアNH₃を反応させることによりプラズマ化学気相成長させたシリコン窒化膜149を1.0μmの膜厚で形成する。

次に、第7図(d)に示すように、DCマグネトロンスパッタ法によるアルミニウムターゲットへのプラズマ中でのアルゴンイオン衝撃により、対向するウエハにアルミニウム薄膜を1μm形成し、フォトリソグラフィ法で形成したフォトレジスト(図示なし)をマスクにして、厚さ1μm、幅10μmのダイポールアンテナパターン150, 151を塩素ガスプラズマによるドライエッチング法でエッチング形成する。

次に、本発明の第3実施例(請求項4に対応)について説明する。

まず、第1図に示すように、抵抗率10Ω・cmで厚さ260μmのP型(100)Si基板1上に、厚さ0.5μmのシリコン酸化膜2を、1000℃で水

素と酸素を混合したガスを流した電気炉内で約 120 分熱処理して形成する。その上に、直流電流マグネトロンスパッタリングによるアルミニウムターゲットへのアルゴンイオン衝撃で、対抗するウエハに厚さ $1\ \mu\text{m}$ のアルミニウム膜を堆積する。幅 $10\ \mu\text{m}$ 、アンテナ長 $2\ \text{mm}$ のダイポールアルミニウムアンテナパターン 3, 4 は、半導体リソグラフィ技術によりフォトレジストをマスクに塩素系ガスを用いたプラズマエッチング技術で形成する。

また、ウエハ裏面を導電性にして接地金属層 5 を形成し、基板とのコンタクトをとる。このとき、Si 基板 1 を接地した場合について、アンテナ伝送利得の Si 基板の厚さ依存性及び半導体装置の断面模式図を第 8 図に示す。

第 8 図において、第 8 図 (a) は本発明の半導体装置の Si 基板を直接金属層で接地した場合 (■)、Si 基板を低誘電率材料層を介して接地した場合 (●) の、損失のある Si 基板の厚さを変えたときのアンテナ伝送利得特性図、第 8 図 (b) は Si 基板を直接金属層で接地した場合の半導体装置の断面模式図、第 8 図 (c) は Si 基板と金属層の間に低誘電率材料層を挿入した場合の半導体装置の断面模式図である。

具体的には、損失のある Si 基板の厚さを変えたときのアンテナ伝送利得について、アンテナ長 $L = 2.0\ \text{mm}$ 、アンテナ間距離 $d = 3.0\ \text{mm}$ で Si 基板 1 の厚さ h を $260\ \mu\text{m}$ から $2340\ \mu\text{m}$ まで $260\ \mu\text{m}$ 刻みで変化させ、Si 基板 1 を直接金属層 5 で接地した場合 (■)、Si 基板 1 と接地金属層 7 の間に低誘電率材料層 6 を挿入した場合 (●) について測定を行った。

第 8 図 (b) に示すように、Si 基板 1 を金属層 5 で直接接地した場合 (■) は、Si 基板の膜厚が薄くなると急激にアンテナ利得が低下する。Si 基板の膜厚がある程度以上であれば、アンテナ利得はほぼ飽和する。

第 8 図 (c) に示すように、Si 基板 1 と接地金属層 7 の間に低誘電率材料層 6 を挿入した場合 (●) は、逆に Si 基板 1 の膜厚が厚くなると、アンテナ利得は低下する。なお、膜厚が $1500\ \mu\text{m}$ あたりを超えると、またアンテナ利得が上昇する。

したがって、Si 基板 1 の膜厚が薄い場合は、Si 基板と接地金属層 7 の間に低誘電率材料層 6 を挿入することによって、アンテナ利得を約 $10\ \text{dB}$ 以上改善

できる。

ここで、アンテナから放射される電磁波による電磁界のF a r - F i e l dの境界が下記の式(3)にS i基板中の電磁波の波長の関数として与えられ、これより電磁界のF a r - F i e l d境界が689 μ mと計算される。

$$r \geq (\lambda_{Si-20GHz}) / 2\pi \quad \dots (3)$$

第8図(b)に示したアンテナから接地面までの距離rが689 μ mより短い距離ではN e a r - F i e l dとなり、送信アンテナにおいて、S i基板接地金属面との静電容量結合の影響により、アンテナから放射される電磁波の伝送電力が減少し、アンテナ伝送利得が下がる。これにより、アンテナと接地面(M e t a l)の距離rは電磁波のF a r - F i e l d条件を満足する必要があると言える。

第8図(c)に示すように、S i基板1と接地金属層7の間に低誘電率材料層6を挿入した場合は、電磁波のF a r - F i e l d条件を満足しているが、S i基板1は損失媒体であるから、電磁波の経路にあるS i基板1の膜厚が増加すると損失が増大しアンテナ伝送利得が低下する。

第9図はアンテナの近傍に金属配線がある場合の誘電率の異なる層間絶縁膜界面での反射率とアンテナ利得の関係を示す図であり、第9図(a)はその半導体装置の断面模式図[第9図(b)における曲線bの場合]、第9図(b)はそのアンテナの下部層間絶縁膜の膜厚(μ m)に対する伝送利得(dB)特性図であり、aは周波数20GHzで下部層間絶縁膜が酸化膜、bは周波数20GHzで下部層間絶縁膜が高比誘電率($\epsilon_r = 50$)膜の場合を示している。

次に、本発明の第4実施例(請求項9に対応)について説明する。

アンテナの近傍に金属配線があると干渉する。第10図にその金属配線長とアンテナ利得の関係を示す。

第10図は本発明の第4実施例を示すアンテナの近傍に金属配線がある場合の金属配線長とアンテナ利得の関係を示す図であり、下横軸は金属配線長(mm)、上横軸はアンテナの長さに対する金属配線長の比(%)を示し、縦軸はアンテナ利得G。(dB)を示している。なお、ここでは、アンテナの電磁波放射方向に対して垂直に配置された金属配線を有する場合を示している。

第10図から明らかなように、アンテナの電磁波放射方向に対して垂直に配置された金属配線の長さがアンテナ長の25%を超えると、アンテナ利得は低下する。すなわち、金属配線長がSi基板中を伝送する電磁波の波長の $1/8$ を超えると反射や干渉によるアンテナ利得の低下が見られた。

第11図において、アンテナに対して配線が平行あるいは垂直に配置された場合の図を示し、51は送信アンテナ、52は金属配線、53は受信アンテナ、54は送信アンテナ51からの放射パターンを示している。

第12図に金属配線長を電磁波の波長の $1/8$ に分割し、かつ縦と横に交互に配置した配線パターンの模式図とその時のアンテナ利得の周波数依存性を示す。第12図において、横軸は周波数(GHz)、縦軸はアンテナ利得G。(dB)を示しており、○は干渉する金属配線(IL)がない場合、▼は金属配線(IL)がある場合を示している。

次に、本発明の第5実施例(請求項11に対応)について説明する。

第13図は本発明の第5実施例を示す半導体装置の断面図である。

第13図(a)において、61はSi基板、62は第1の絶縁膜(比誘電率4.0)、63は配線金属層、64は第2の絶縁膜(比誘電率2-3, 例えば2.7)、65はアンテナ(65Aは送信アンテナ、65Bは受信アンテナ)、66は反射器、67はアンテナ層、68はアンテナ65の上方に第1の絶縁膜材料または第2の絶縁膜材料で形成された放物面を有するレンズ状絶縁膜、69A、69Bは放物面ミラーである。

また、第13図(b)において、71はSi基板、72は第1の絶縁膜(比誘電率4.0)、73は配線金属層、74は第2の絶縁膜(比誘電率2-3, 例えば2.7)、75Aは送信アンテナ、75Bは受信アンテナ、76は反射器、77はアンテナ層である。

この第1の実施態様では、送信アンテナ65Aからの電磁波伝送信号をSi基板61又は別の複数のSi基板上に形成した受信アンテナ65Bへ伝送するワイヤレス配線となし、アンテナ65の上方に第1または誘電率の異なる第2の絶縁膜材料で形成された放物面を有するレンズ状絶縁膜68を形成し、前記レンズ状絶縁膜68の表面に反射金属層69が形成されている。放物面ミラー69A、6

9 Bの焦点の位置にそれぞれアンテナ 6 5 A、6 5 Bとしての金属層が形成されている。反射器 6 6 も同一面上に形成されている。

次に、本発明の第 6 実施例（請求項 1 2 に対応）について説明する。

第 1 4 図は本発明の第 6 実施例を示す半導体装置の平面図である。

S i 基板上に形成した送信アンテナ T 1 からの電磁波伝送信号を同一 S i 基板上に形成した受信アンテナ R 1、R 2、R 3 へ同期クロック信号として伝送する場合、前記送信アンテナ T 1 から前記各受信アンテナ R 1、R 2、R 3 までの直線距離 d 1、d 2、d 3 を電磁波伝送速度で割った時間 t 1、t 2、t 3 をクロック受信回路の遅れ時間としてタイミング調整する。

次に、本発明の第 7 実施例（請求項 1 3 に対応）について説明する。

第 6 実施例（第 1 4 図）と同様に、抵抗率 $10 \Omega \cdot \text{cm}$ の P 型（1 0 0）S i 基板上に、比誘電率 4. 0 の第 1 の絶縁膜を形成し、その上に比誘電率 2. 7 の第 2 の絶縁膜、例えばメチルシルセスキオキサン前駆体を 3 0 0 0 r p m で回転塗布し、続いて、大気中で、1 5 0℃で 3 分、2 5 0℃で 5 分、4 0 0℃で 3 0 分ベークした、膜厚 0. 5 μm の第 2 の絶縁膜を形成する。D C マグネトロンスパッタ法によるアルミニウムターゲットへのプラズマ中でのアルゴンイオンによりアルミニウム薄膜を形成し、フォトリソグラフィ法で厚さ 1 μm 、幅 1 0 μm のダイポールアンテナをフォトレジストをマスクにパターンニングし、ドライエッチング法でエッチング形成する。これを繰り返し多層配線を形成する。アンテナパターン以外の配線層は従来どおりの配線パターンを形成する。

半導体集積回路が形成された S i 基板は複数個積層して並べ、送信アンテナパターンをそのうち一つの基板上の S i チップの端の一辺に配置する。この送信アンテナから複数個の S i チップの同期クロック信号として 2 0 G H z の正弦波を放射する。積層された他の S i 基板の同じ位置に対応する一辺に受信アンテナをそれぞれ配置形成し、S i 基板を通して同期クロックの電磁波の正弦波信号を受信する。この基板の回路で同期クロックのスキューである信号の位相遅れを調整する。

すなわち、各 S i 基板の積層ピッチを 2 mm とすると、送信アンテナの位置から次段の受信アンテナの位置までの距離も 2 mm であるから、この距離を電磁波

の位相速度で割ると遅れ時間が正確に計算できる。この遅れ時間は概ね 10 p s e c であるから、元のクロック信号の周期 50 p s e c の $1/4$ より小さく、波形の位相遅れをあらかじめ調整することができる。波形の位相遅れをあらかじめ調整して位相を早くしたクロック信号は、同じ一辺に配置された送信アンテナから放射し、次の基板へ伝送される。すなわち受信クロック信号の位相より送信クロック信号の位相をチップ間の遅れ時間だけ早めにずらしておく。

以下同様に、第2、第3の基板の受信アンテナへ中継していく。これによって、積層基板が何枚であっても位相遅れを調整して中継できるので、クロックスキュー問題は解決できる。

第15図は本発明の第7実施例を示す半導体装置間の伝送状態を示す模式図、第16図は第15図における周波数に対するアンテナ利得特性図である。

第15図において、81は第1の半導体装置（第1の半導体集積回路装置：第1のIC）、82はその第1の半導体装置81に実装される送信アンテナ、83は第2の半導体装置（第2の半導体集積回路装置：第2のIC）、84はその第2の半導体装置83に実装される受信アンテナであり、この実施例では、個別の半導体装置81、83間の接続をワイヤで行うのではなく、GHz帯での無線送受信で行うようにしている。

第16図は、第1の半導体装置81と第2の半導体装置83との間隔を 1 mm 、送信アンテナ82と受信アンテナ84間の距離を 10 mm とした場合の周波数に対するアンテナ利得特性図であり、横軸は周波数（GHz）、縦軸はアンテナ利得（dB）を示している。第16図において、曲線aはアンテナ長が 3 mm の場合、曲線bは 2 mm の場合を示している。曲線aから明らかなように、特に、アンテナ長が 3 mm の場合、約 $14 \sim 18 \text{ GHz}$ （ $\text{BW} = 4 \text{ GHz}$ ）において、アンテナ利得が増大することが明らかになった。

本発明は、超LSI、DRAM、など高速動作するLSI配線をもつすべての半導体装置に適用することができる。

なお、本発明は上記実施例に限定されるものではなく、本発明の趣旨に基づいて種々の変形が可能であり、これらを本発明の範囲から排除するものではない。

以上、詳細に説明したように、本発明によれば、以下のような効果を奏するこ

とができる。

複数の半導体基板間の超高速信号伝送が可能な半導体シリコンフィギュラブルワイヤレス配線を提供することができる。つまり、複数の半導体基板上に形成した金属アンテナからの信号を半導体基板を通して別の半導体基板へワイヤレスで伝送することができる。

より具体的には、以下の特徴を有する。

- (1) 複数個の半導体チップにそれぞれ広帯域送受信アンテナを形成する。
- (2) 送信信号はS i 基板を透過して別の半導体基板のアンテナに受信される。
- (3) 送受信信号はウルトラワイドバンド通信〔10－20GHz近傍に中心周波数があり、利用する周波数の幅がその中心周波数に対して25%以上の拡がり
を有し、伝送信号のパルス幅は1ns以下で搬送波を用いないものであり、不要
輻射基準（－41.3dBm/MHz）以下で展開する無線通信（その利用帯域
2～20GHz）〕による。実施例では6－25GHzである。
- (4) 送受信アンテナの層は金属配線の層と分離される。
- (5) 送受信アンテナと金属配線を分離する層間絶縁膜は高誘電率膜とする。
- (6) 金属配線の長さが送受信アンテナから放射される電波の波長の1/8より
長いときは配線を分割する。
- (7) 金属配線の方方向を送受信アンテナに対して垂直な方向にレイアウトする。
- (8) 送受信アンテナを形成した半導体基板と接地金属の距離は電磁波の遠方界
以上の距離にする。

産業上の利用可能性

本発明の半導体装置は、配線遅延をなくすることができる次世代型の半導体装置へ利用可能である。

請 求 の 範 囲

1. 半導体基板上に形成した送信アンテナからの電磁波伝送信号を前記半導体基板又は別の複数の半導体基板上に形成した受信アンテナへ伝送するワイヤレス配線となし、前記複数の半導体基板にそれぞれ広帯域送受信アンテナを形成し、前記1つ以上の半導体基板から信号が発信され、前記半導体基板又は別の複数の半導体基板の受信アンテナで受信され、その送受信信号がウルトラワイドバンド通信機能を有することを特徴とする半導体装置。

2. 半導体基板表面に形成する第1の層間絶縁膜に挟まれた多層配線を有し、前記多層配線金属層の一部に送信アンテナを形成し、内部配線金属とは貫通孔の金属を介して接続し、前記送信アンテナが形成された配線金属層は上下を第2の絶縁膜で挟まれており、前記第2の絶縁膜は隣接する第1の層間絶縁膜と誘電率が異なり、電磁波が前記第1および第2の絶縁膜の界面で全反射する条件を満たし、前記アンテナには同一面内での放射方向とは逆の方向に反射器が設けられていることを特徴とする半導体装置。

3. 半導体基板表面に形成する第1の層間絶縁膜に挟まれた多層配線を有し、前記多層配線金属層の一部に送信アンテナを形成し、内部配線金属とは貫通孔の金属を介して接続し、前記送信アンテナが形成された配線金属層は上下を第2の絶縁膜で挟まれており、前記第2の絶縁膜は隣接する第1の層間絶縁膜と誘電率が異なり、電磁波が前記第1および第2の絶縁膜の界面で全反射しない場合は前記アンテナから前記内部金属配線までの距離と前記第2の絶縁膜の膜厚の関係を次式で決まる値とし、前記アンテナには同一面内での放射方向とは逆の方向に反射器が設けられていることを特徴とする半導体装置。

$$\text{全反射角度} = \sin^{-1} \sqrt{(\text{第1の絶縁膜の誘電率} / \text{第2の絶縁膜の誘電率})} \quad \dots (1)$$

$$\text{全反射角度} = \tan^{-1} \sqrt{(\text{アンテナから配線までの距離} / \text{第2の絶縁膜の膜厚})} \quad \dots (2)$$

4. 半導体基板表面に形成する複数層の層間絶縁膜に挟まれた多層配線を有し、

前記多層配線金属層の一部に送信アンテナを形成し、前記送信アンテナは内部配線金属とは貫通孔の金属を介して接続し、前記送信アンテナが形成された配線金属層は上下を第1の絶縁膜で挟まれており、前記第1の絶縁膜は膜厚方向に複数の微細孔が貫通しており、アンテナ伝送電磁波周波数におけるフォトニックバンドギャップを形成していることを特徴とする半導体装置。

5. 半導体基板表面に形成する複数の層の層間絶縁膜に挟まれた多層配線を有し、前記多層配線金属層の一部に送信アンテナを形成し、前記送信アンテナは内部配線金属とは貫通孔の金属を介して接続し、前記送信アンテナが形成された配線金属層は上下を第1の絶縁膜で挟まれており、前記第1の絶縁膜は膜厚方向に複数の微細孔が形成されており、前記微細孔には誘電率の異なる第2の絶縁膜が埋め込まれて、アンテナ伝送電磁波周波数におけるフォトニックバンドギャップを形成していることを特徴とする半導体装置。

6. 半導体基板上に形成した送信アンテナからの電磁波伝送信号を前記半導体基板又は別の複数の半導体基板上に形成した受信アンテナへ伝送するワイヤレス配線となし、半導体基板表面に形成する多層配線金属層の一部に送受信アンテナを形成し、前記アンテナと接地金属基板および内部金属配線とは半導体中の電磁波の波長で規定される遠方界距離より離れていることを特徴とする半導体装置。

$$\text{距離} = S \text{ i 基板中の波長} / 2 \pi$$

7. 半導体基板上に形成した送信アンテナからの電磁波伝送信号を前記半導体基板又は別の複数の半導体基板上に形成した受信アンテナへ伝送するワイヤレス配線となし、前記アンテナと接地金属基板および内部金属配線とは半導体中の電磁波の波長で規定される遠方界距離より離れるように、前記半導体基板と接地金属基板との間に低誘電率絶縁膜を挿入したことを特徴とする半導体装置。

$$\text{距離} = S \text{ i 基板中の波長} / 2 \pi$$

8. 半導体基板上に形成した送信アンテナからの電磁波伝送信号を前記半導体基板又は別の複数の半導体基板上に形成した受信アンテナへ伝送するワイヤレス配線となし、前記送信アンテナからの放射方向に垂直に配置された複数の金属配線層がビア接続孔を介して接続され、その全長が半導体中の電磁波の波長の8分の1より短くなるように分割し、電源、接地配線および共通配線はアンテナの放

射方向に平行に配置することを特徴とする半導体装置。

9. 半導体基板上に形成した送信アンテナからの電磁波伝送信号を前記半導体基板又は別の複数の半導体基板上に形成した受信アンテナへ伝送するワイヤレス配線となし、前記半導体基板を複数個並べて積層集積化し、前記半導体基板裏面および前記半導体基板から最も離れた外側の半導体基板裏面には全面金属接地層が形成されて外を向いて配置され、それ以外の半導体基板には裏面接地金属層を形成せず、接地コンタクトは基板表面からとることを特徴とする半導体装置。

10. 半導体基板上に形成した送信アンテナからの電磁波伝送信号を前記半導体基板又は別の複数の半導体基板上に形成した受信アンテナへ伝送するワイヤレス配線となし、前記半導体基板裏面の接地金属層は短冊状に分割し、その幅は半導体中の電磁波の波長の4分の1より小さく、その間隔は半導体中の電磁波の波長の4分の1より大きいことを特徴とする半導体装置。

11. 半導体基板上に形成した送信アンテナからの電磁波伝送信号を前記半導体基板又は別の複数の半導体基板上に形成した受信アンテナへ伝送するワイヤレス配線となし、前記送信アンテナの上方に第1または誘電率の異なる第2の層間絶縁膜材料で形成された放物面を有するレンズ状絶縁膜を形成し、前記レンズ状絶縁膜の表面に金属層が形成されていることを特徴とする半導体装置。

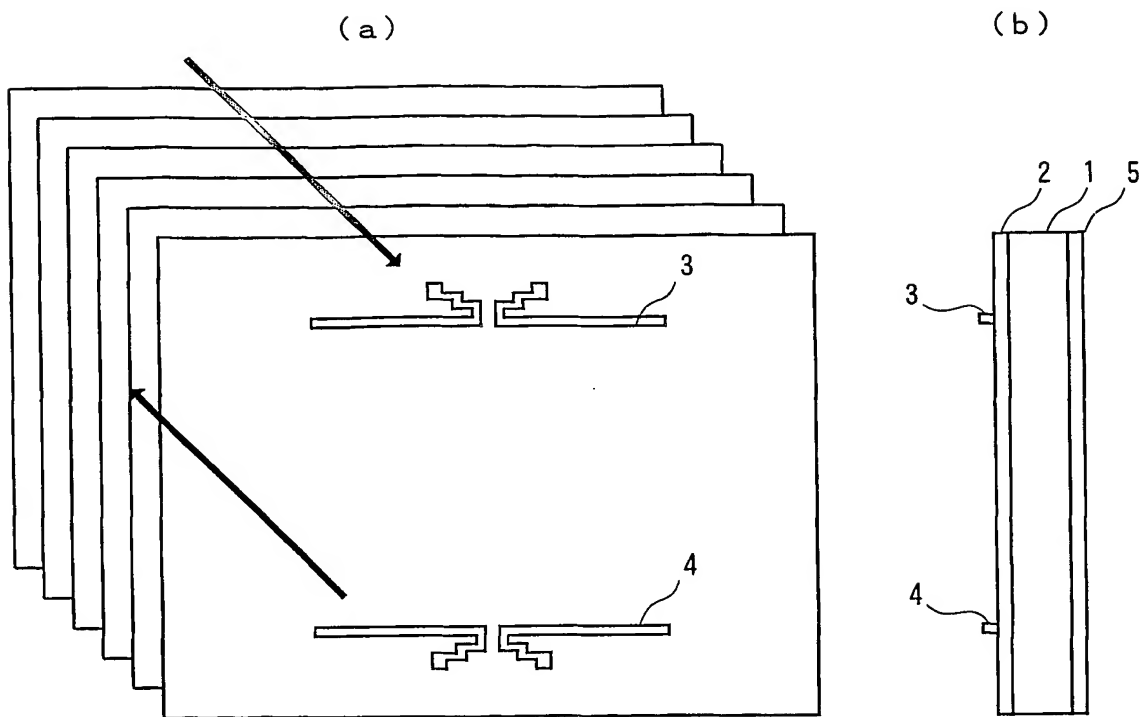
12. 半導体基板上に形成した送信アンテナからの電磁波伝送信号を前記半導体基板又は別の複数の半導体基板上に形成した受信アンテナへ伝送するワイヤレス配線となし、前記送信アンテナから同期クロック信号を放射し、前記の半導体基板上に形成した各受信アンテナで受信するとき、前記送信アンテナから前記各受信アンテナまでの直線距離を電磁波伝送速度で割った時間をクロック受信回路の遅れ時間としてタイミング調整することを特徴とする半導体装置。

13. 半導体基板上に形成した送信アンテナからの電磁波伝送信号を前記半導体基板又は別の複数の半導体基板上に形成した受信アンテナへ伝送するワイヤレス配線となし、前記複数の半導体基板が等間隔で積層集積化され、前記各半導体基板上に形成した送受信アンテナが前記半導体基板上に形成した送信アンテナと同じ辺に配置され前記送信アンテナから放射された同期クロック信号の中継器となり、前記送受信アンテナ間直線距離を電磁波伝送速度で割った最大時間がその

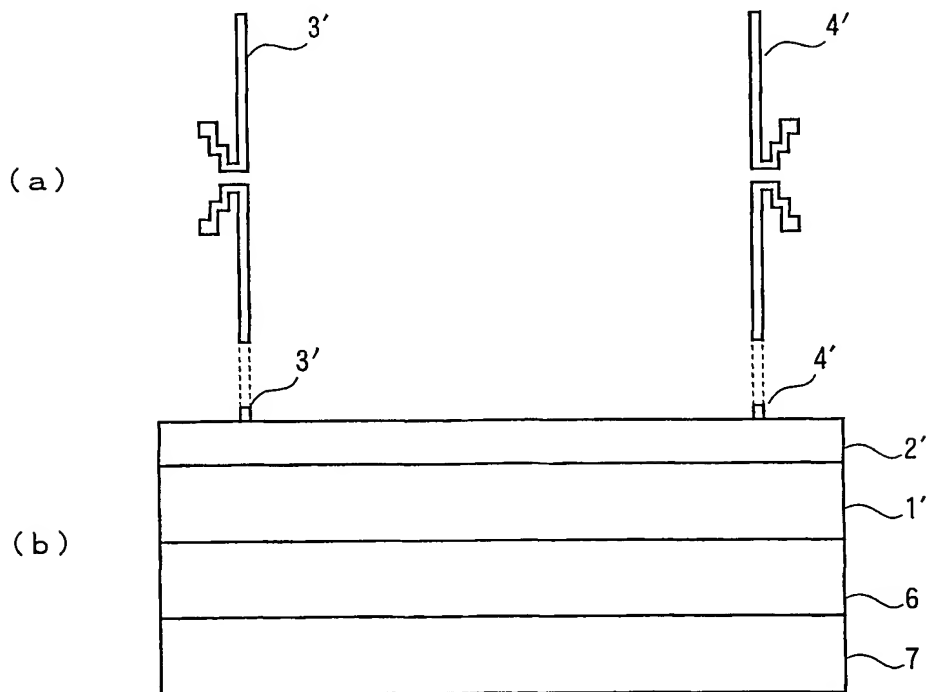
クロック周期の $1/4$ より小さくなることを特徴とする半導体装置。

14. 半導体基板上に形成した送信アンテナからの電磁波伝送信号を別の複数の半導体基板上に形成した受信アンテナへ伝送するワイヤレス配線となし、前記複数の半導体基板が等間隔で積層集積化され、前記各半導体基板上に形成した送信アンテナはその伝送利得が -10 dB となる帯域が中心周波数の 25% 以上となるような広帯域アンテナであることを特徴とする半導体装置。

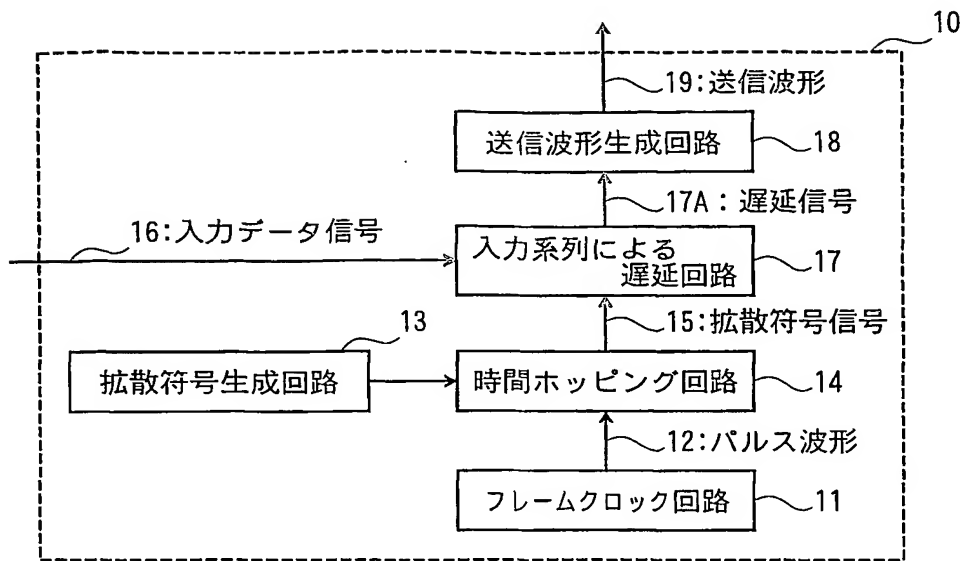
第 1 図



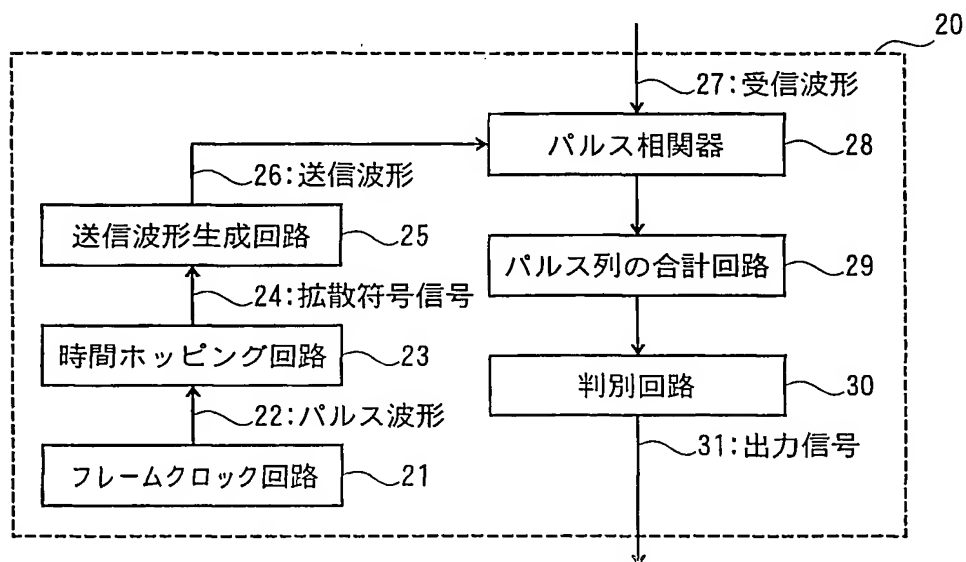
第 2 図



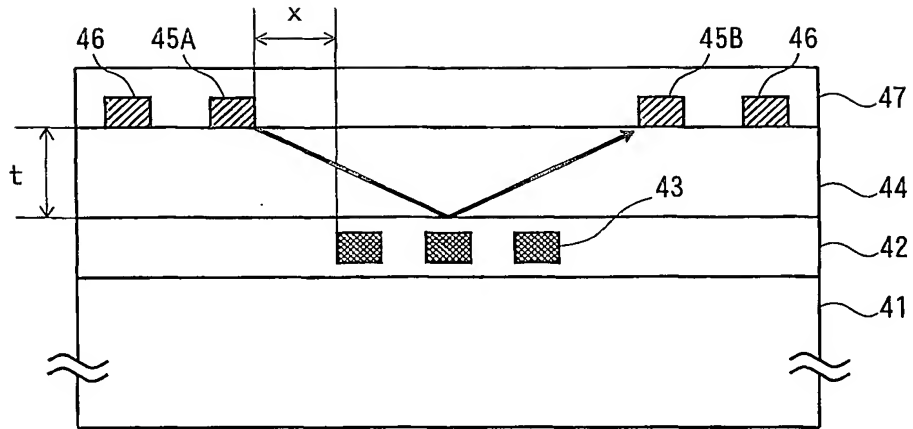
第 3 図



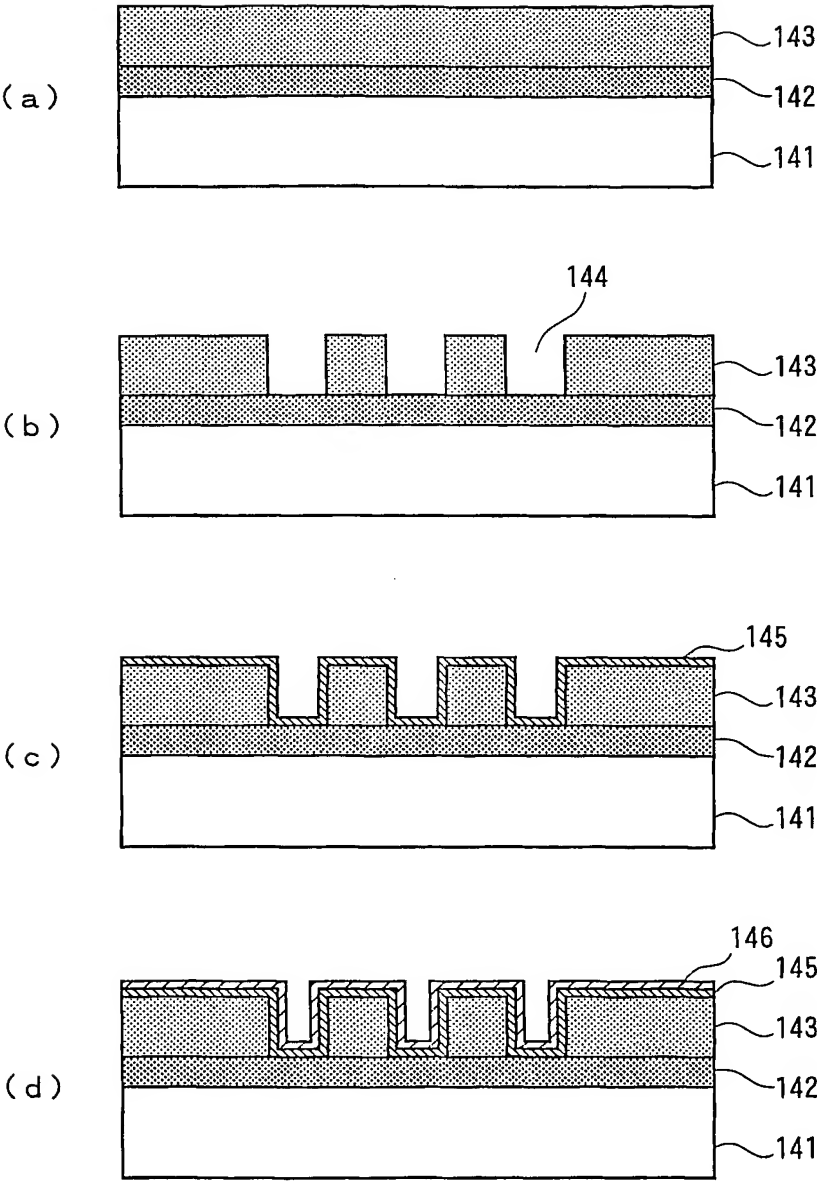
第 4 図



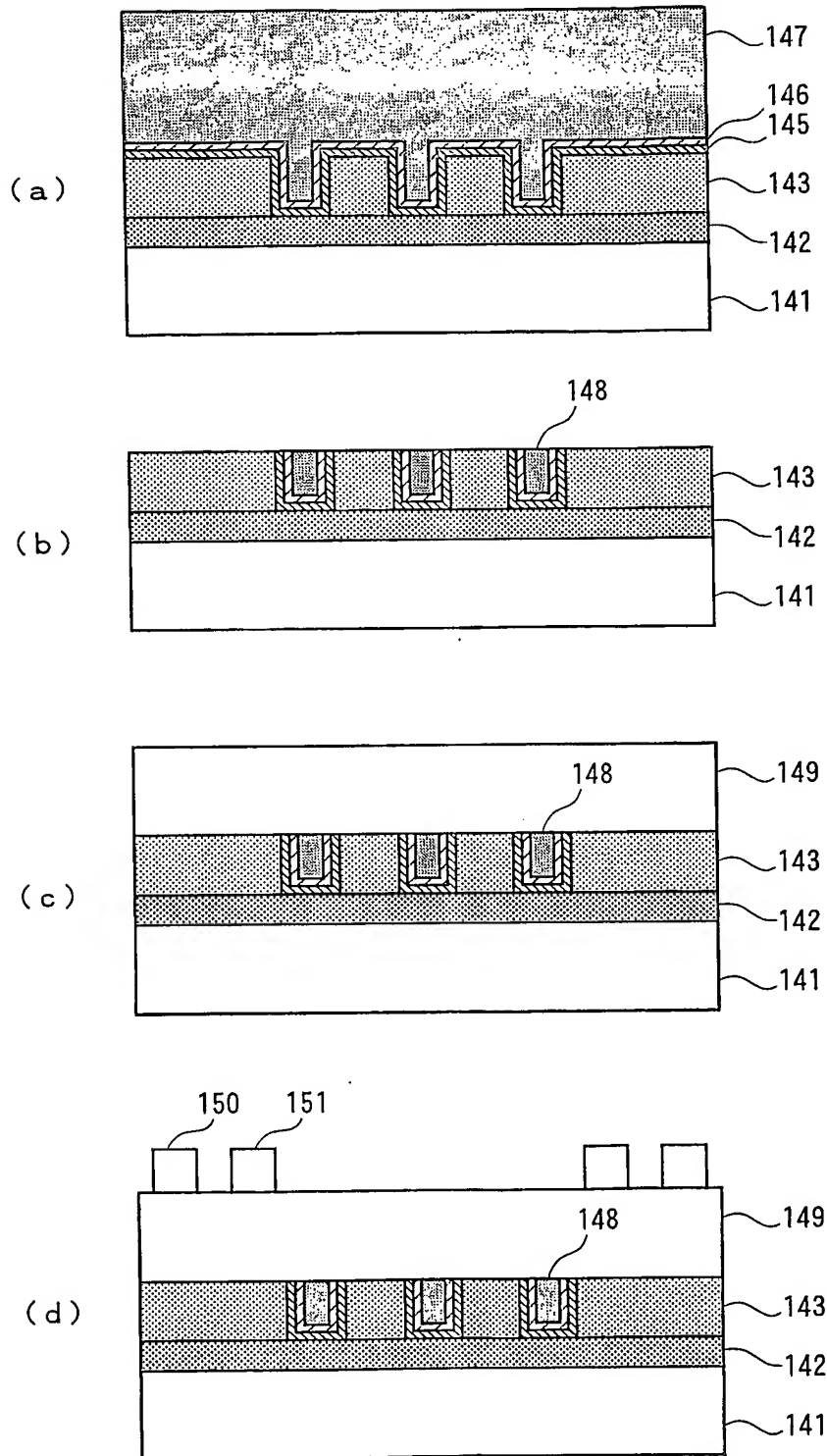
第 5 図



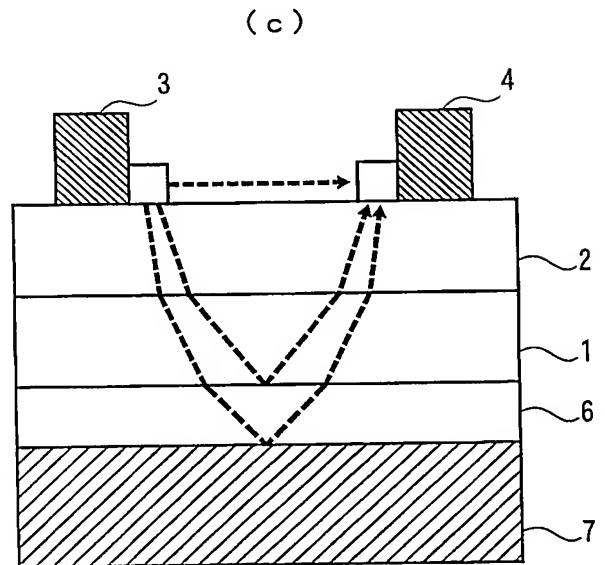
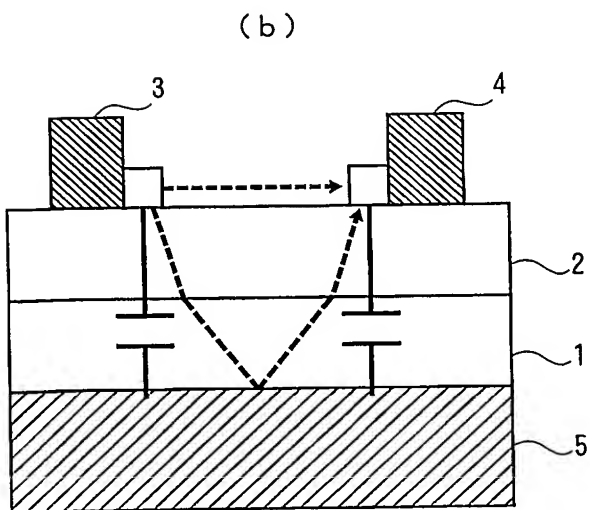
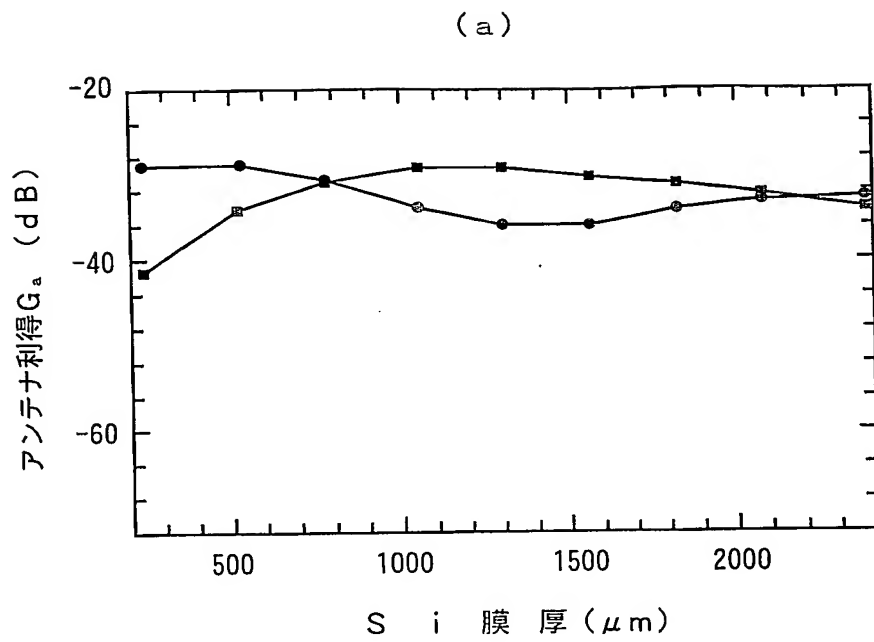
第 6 図



第 7 図

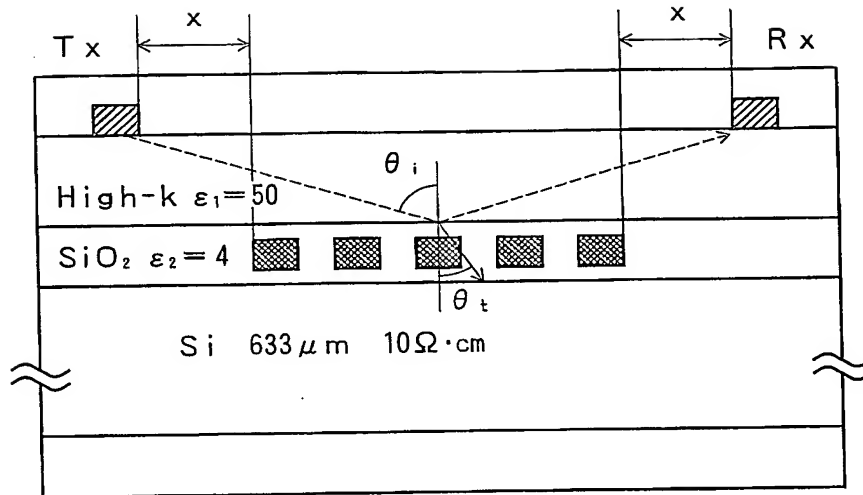


第 8 図

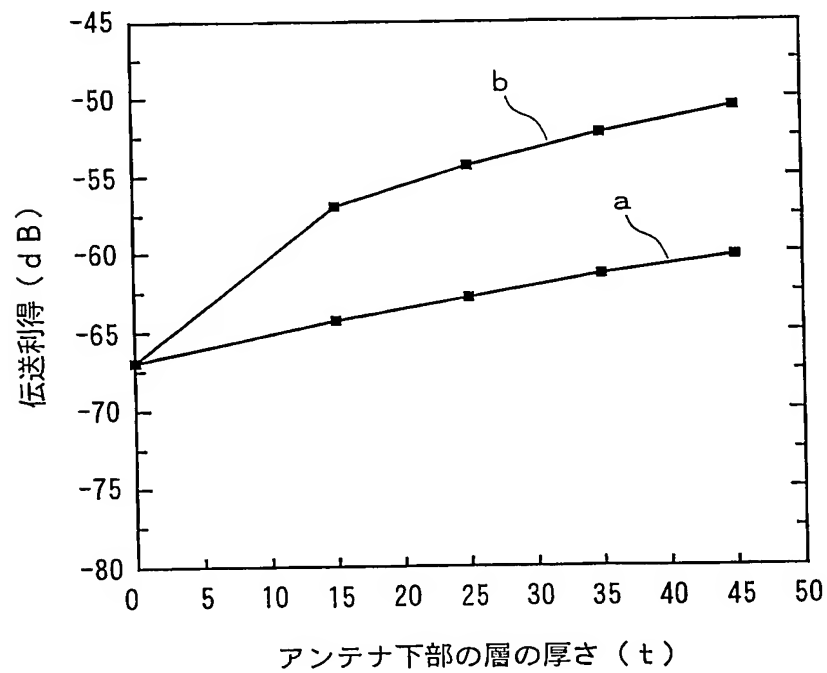


第 9 図

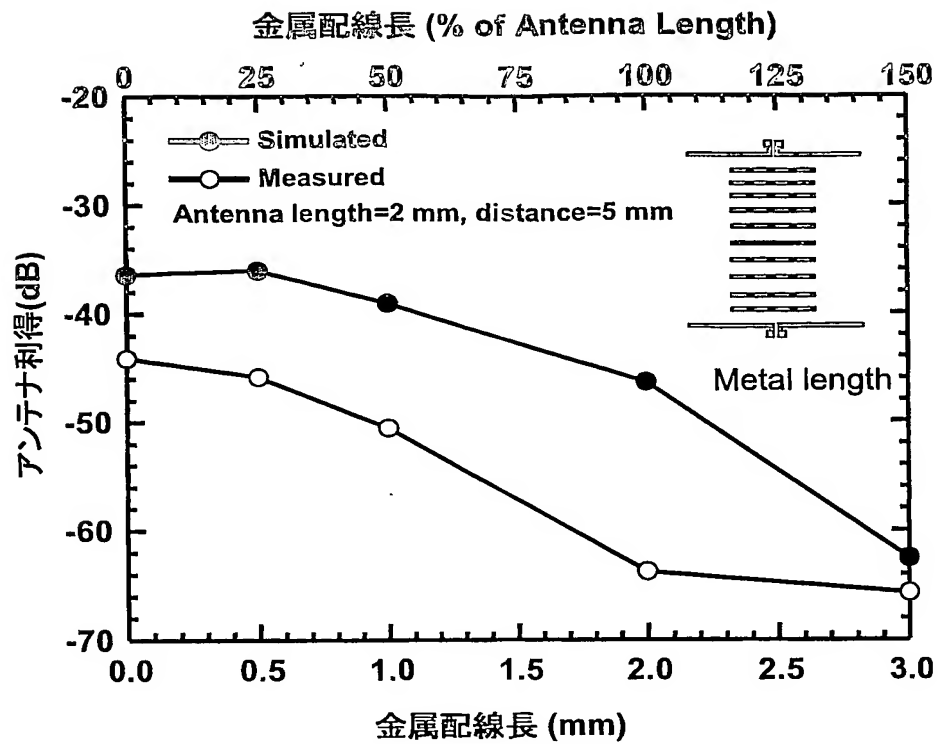
(a)



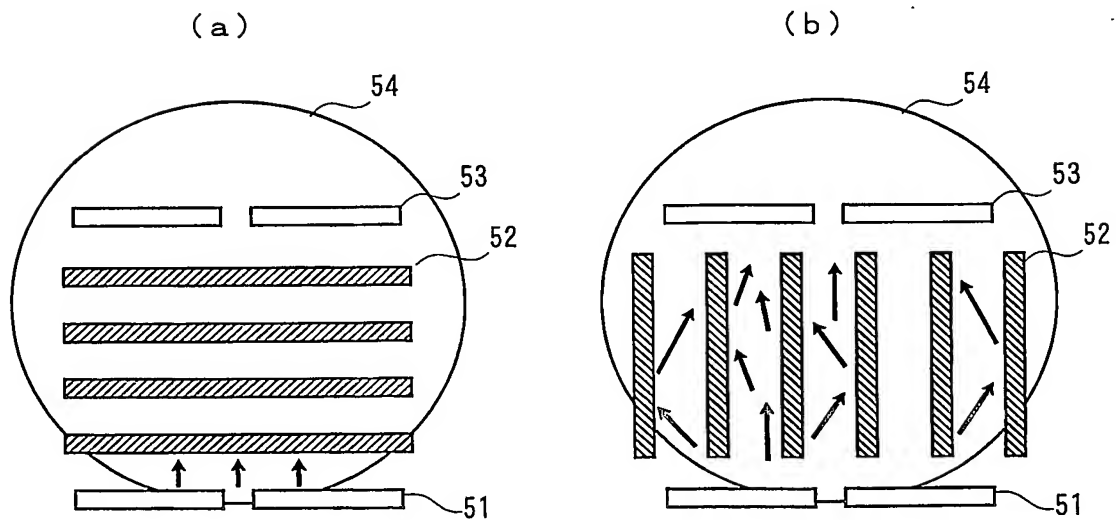
(b)



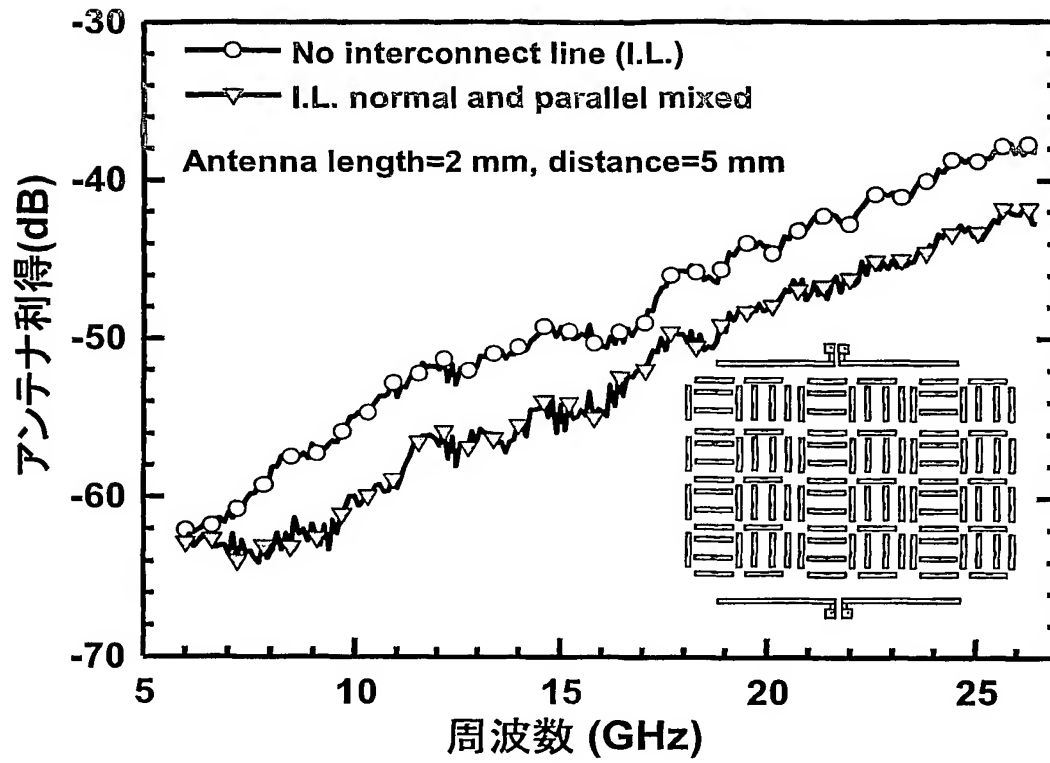
第 1 0 図



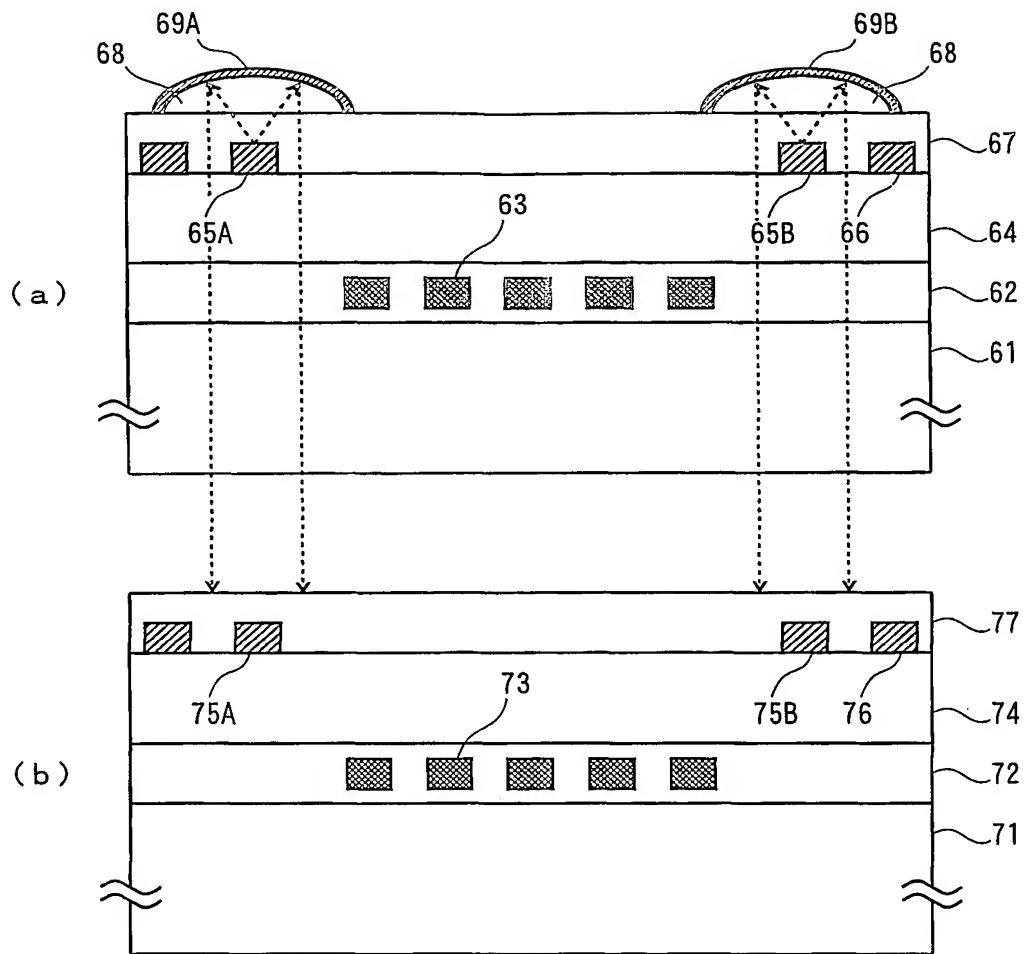
第 1 1 図



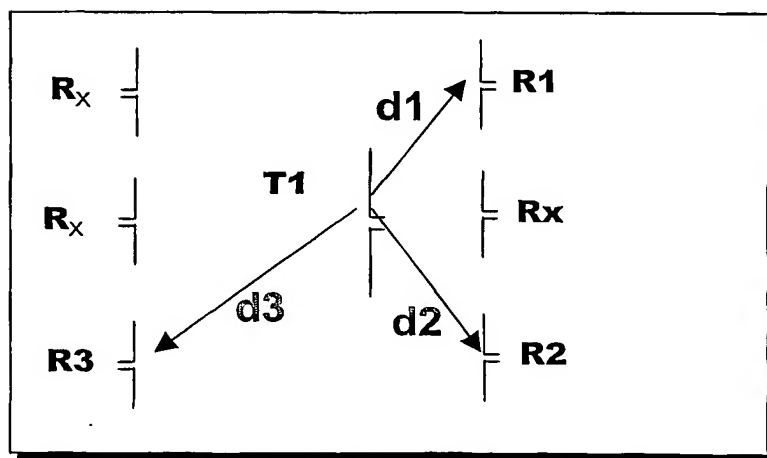
第 1 2 図



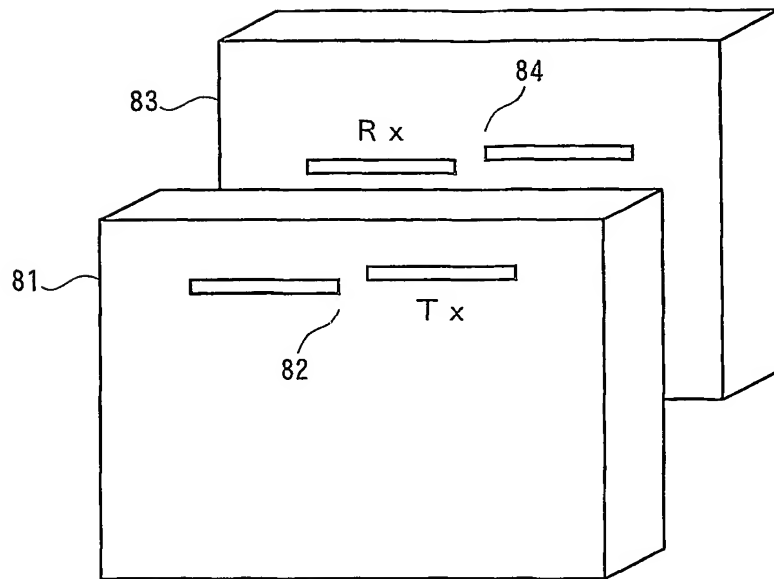
第 1 3 図



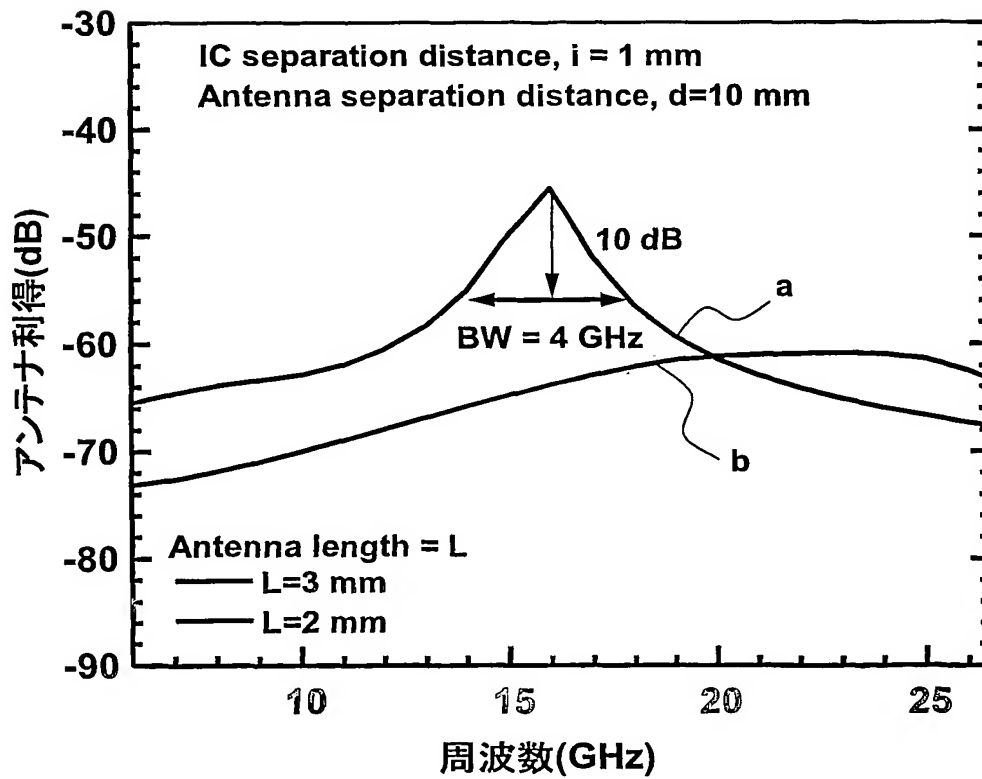
第 1 4 図



第 1 5 図



第 1 6 図



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/004419

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl⁷ H01L27/04, H01L21/3205, H01Q1/38, H01Q1/40

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl⁷ H01L27/04, H01L21/3205, H01Q1/38, H01Q1/40

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2004
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2004	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2004

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

IEL Online

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y A	A.B.M. Harun-ur Rashid et al., 'Interference Suppression of Wireless Interconnection in Si Integrated Anthenna', Proceedings of the IEEE 2002 International interconnect Technology Conference, 2002, pages 173 to 175	1 2,3 6-8,11-14
X Y A	Brian A. Floyd et al., 'Intra-Chip Wireless Interconnect for Clock Distribution Implemented With Integrated Antennas, Receivers, and Transmitters', IEEE Journal of Solid-State Circuits, Vol.37, No.5, May 2002, pages 543 to 552	1 2,3 6-8,11-14
X A	Xiaolin Guo et al., 'Propagation Layers for Intra-Chip Wireless Interconnection Compatible with Packaging and Heat Removal', 2002 Symposium On VLSI Technology Digest of Technical Papers, 2002, pages 36 to 37	1,6,7 2,3,8,11-14

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

19 May, 2004 (19.05.04)

Date of mailing of the international search report

01 June, 2004 (01.06.04)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/004419

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X A	JP 2001-326328 A (New Japan Radio Co., Ltd.), 22 November, 2001 (22.11.01), Full text; Figs. 1 to 13 (Family: none)	1,12 2,3,6-8,11, 13,14
X A	JP 2000-124406 A (Kabushiki Kaisha Shinseshisu), 28 April, 2000 (28.04.00), Full text; Figs. 1 to 6 (Family: none)	1,14 2,3,6-8, 11-13

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/004419

Box No. II Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 2 of first sheet)

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

1. ☐ Claims Nos.:
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:
2. ☒ Claims Nos.: 4, 5, 9, 10
because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:
As is described in the extra sheet, the inventions of claims 4, 5, 9, 10 are not sufficiently disclosed or supported by the Description and it is difficult to perform useful International Search for them.
(Continued to extra sheet)
3. ☐ Claims Nos.:
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

Box No. III Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 3 of first sheet)

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:

1. ☐ As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.
2. ☐ As all searchable claims could be searched without effort justifying an additional fee, this Authority did not invite payment of any additional fee.
3. ☐ As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:
4. ☐ No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:

Remark on Protest

- ☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest.
☐ No protest accompanied the payment of additional search fees.

Continuation of Box No.II-2 of continuation of first sheet(2)

The inventions of claims 4, 5, 9, 10 are not sufficiently disclosed or supported by the Description.

[About Claims 4, 5]

In the paragraph of the Best mode for carrying out the invention, it is explained that the third embodiment corresponds to claim 4. However, in the third embodiment, although it is described that the Si substrate should have a film thickness equal to or above the Far-Field boundary, there is disclosed no specific structure or experiment example for forming a photonic band-gap in the antenna transmission electromagnetic wave frequency. Moreover, in the other embodiments, no description is given on the specific structure of experiment example for forming the photonic band-gap in the antenna transmission electromagnetic wave frequency.

[About claim 9]

In the paragraph of the Best mode for carrying out the invention, it is explained that the fourth embodiment corresponds to claim 9. However, in the fourth embodiment, it is described that when there is provided a metal wiring arranged vertical to the electromagnetic wave radiation direction of the antenna, the metal wiring has a length equal to or shorter than $1/8$ of wavelength of the electromagnetic wave propagating in the Si substrate. However, no explanation is given on a specific structure or experiment example in which a plurality of semiconductor substrates are layered/integrated and a metal grounding layer is formed on the rear surface of the outermost semiconductor substrate farthest from the aforementioned semiconductor substrate and arranged to face outside, or on a specific structure or experiment example in which a grounding contact is arranged from the substrate surface without forming the rear surface grounding metal layer on a semiconductor substrate and on the semiconductor substrate other than the outermost semiconductor substrate farthest from the aforementioned semiconductor substrate. Furthermore, in the other embodiments, no explanation is given on a specific structure or experiment example in which a metal grounding layer is formed on the rear surface of the outermost semiconductor substrate farthest from the aforementioned semiconductor substrate and arranged to face outside, or on a specific structure or experiment example in which a grounding contact is arranged from the substrate surface without forming the rear surface grounding metal layer on a semiconductor substrate and on the semiconductor substrate other than the outermost semiconductor substrate farthest from the aforementioned semiconductor substrate.

[About claim 10]

None of the embodiments as the best modes for carrying out the invention describes a specific structure or an experiment example in which the grounding metal layer of the semiconductor substrate rear surface is divided into stripes having a width smaller than $1/4$ of the wavelength of the electromagnetic wave in the semiconductor and an interval greater than $1/4$ of the wavelength of the electromagnetic wave in the semiconductor.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl⁷ H 0 1 L 2 7 / 0 4, H 0 1 L 2 1 / 3 2 0 5, H 0 1 Q 1 / 3 8, H 0 1 Q 1 / 4 0

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl⁷ H 0 1 L 2 7 / 0 4, H 0 1 L 2 1 / 3 2 0 5, H 0 1 Q 1 / 3 8, H 0 1 Q 1 / 4 0

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2004年
日本国実用新案登録公報	1996-2004年
日本国登録実用新案公報	1994-2004年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

IEL Online

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X Y A	A.B.M. Harun-ur Rashid et.al. 'Interference Suppression of Wireless Interconnection in Si Integrated Anthenna', Proceedings of the IEEE 2002 International interconnect Technology Conference, 2002, p.173-175	1 2, 3 6-8, 11-14
X Y A	Brian A. Floyd et.al. 'Intra-Chip Wireless Interconnect for Clock Distribution Implemented With Integrated Antennas, Receivers, and Transmitters', IEEE Journal of Solid-State Circuits, Vol.37, No.5, May 2002, p.543-552	1 2, 3 6-8, 11-14

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

- 「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

- 「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

19.05.2004

国際調査報告の発送日

01.6.2004

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P)
郵便番号100-8915
東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

刈 真悟

4 L

2933

電話番号 03-3581-1101 内線 3496

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X A	Xiaoling Guo et.al. 'Propagation Layers for Intra-Chip Wireless Interconnection Compatible with Packaging and Heat Removal', 2002 Symposium On VLSI Technology Digest of Technical Papers, 2002, p.36-37	1, 6, 7 2, 3, 8, 11-14
X A	JP 2001-326328 A (新日本無線株式会社) 2001. 11. 22, 全文, 第1-13図 (ファミリーなし)	1, 12 2, 3, 6-8, 11, 13, 14
X A	JP 2000-124406 A (株式会社シンセシス) 2000. 04. 28, 全文, 第1-6図 (ファミリーなし)	1, 14 2, 3, 6-8, 11-13

第Ⅱ欄 請求の範囲の一部の調査ができないときの意見 (第1ページの2の続き)

法第8条第3項(PCT17条(2)(a))の規定により、この国際調査報告は次の理由により請求の範囲の一部について作成しなかった。

1. ☐ 請求の範囲 _____ は、この国際調査機関が調査をすることを要しない対象に係るものである。つまり、
2. ☒ 請求の範囲 4, 5, 9, 10 は、有意義な国際調査をすることができる程度まで所定の要件を満たしていない国際出願の部分に係るものである。つまり、
(特別ページ)に記載したように、請求の範囲4, 5, 9, 10に係る発明は、明細書の開示及び裏付けが十分でなく、有意義な国際調査をすることが困難である。
3. ☐ 請求の範囲 _____ は、従属請求の範囲であってPCT規則6.4(a)の第2文及び第3文の規定に従って記載されていない。

第Ⅲ欄 発明の単一性が欠如しているときの意見 (第1ページの3の続き)

次に述べるようにこの国際出願に二以上の発明があるとこの国際調査機関は認めた。

1. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料をすべて期間内に納付したので、この国際調査報告は、すべての調査可能な請求の範囲について作成した。
2. ☐ 追加調査手数料を要求するまでもなく、すべての調査可能な請求の範囲について調査することができたので、追加調査手数料の納付を求めなかった。
3. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料を一部のみしか期間内に納付しなかったため、この国際調査報告は、手数料の納付のあった次の請求の範囲のみについて作成した。
4. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料を期間内に納付しなかったため、この国際調査報告は、請求の範囲の最初に記載されている発明に係る次の請求の範囲について作成した。

追加調査手数料の異議の申立てに関する注意

- ☐ 追加調査手数料の納付と共に出願人から異議申立てがあった。
☐ 追加調査手数料の納付と共に出願人から異議申立てがなかった。

請求の範囲 4, 5, 9, 10 に係る発明は、明細書の開示及び裏付けが十分でない。

(請求の範囲 4、5 について)

発明を実施するための最良の形態には、第 3 実施例が請求の範囲 4 に対応する旨記載されているが、第 3 実施例では、Far-Field 境界以上の Si 基板の膜厚が必要である旨説明がなされているものの、アンテナ伝送電磁波周波数におけるフォトニックバンドギャップを形成した具体的な構造や実験例は記載されていない。また、他の実施例においても、アンテナ伝送電磁波周波数におけるフォトニックバンドギャップを形成した具体的な構造や実験例は記載されていない。

(請求の範囲 9 について)

発明を実施するための最良の形態には、第 4 実施例が請求の範囲 9 に対応する旨記載されているが、第 4 実施例では、アンテナの電磁波放射方向に対して垂直に配置された金属配線を有する場合、当該金属配線の長さが Si 基板中を伝送する電磁波の波長の $1/8$ 以下とすることは記載されているものの、半導体基板を複数個並べて積層集積化し、半導体基板と前記半導体基板から最も離れた外側の半導体基板の裏面には金属接地層が形成されて外を向いて配置されている具体的な構造や実験例や、半導体基板と前記半導体基板から最も離れた外側の半導体基板以外の半導体基板には、裏面接地金属層を形成せずに、基板表面から接地コンタクトをとる具体的な構造や実験例は記載されていない。また、他の実施例においても、半導体基板と前記半導体基板から最も離れた外側の半導体基板の裏面には金属接地層が形成されて外を向いて配置されている具体的な構造や実験例や、半導体基板と前記半導体基板から最も離れた外側の半導体基板以外の半導体基板には、裏面接地金属層を形成せずに、基板表面から接地コンタクトをとる具体的な構造や実験例は記載されていない。

(請求の範囲 10 について)

発明を実施するための最良の形態のいずれの実施例にも、半導体基板裏面の接地金属層を、半導体中の電磁波の波長の 4 分の 1 より小さい幅で、半導体中の電磁波の波長の 4 分の 1 より大きい間隔で、短冊状に分割した、具体的な構造や実験例は記載されていない。